

Zwischen common sense und physikalischer Theorie

- wissenschaftstheoretische Probleme beim Physiklernen

H. Joachim Schlichting . Universität Osnabrück

*Je mehr wir uns der Wahrheit nähern,
desto mehr entfernen wir uns von der Wirklichkeit.*

Stanislaw Lec

Es werden Schwierigkeiten beim Lernen von Physik angesprochen, die direkt oder indirekt mit dem Wechsel des Vorstellungsrahmens zusammenhängen. Dies betrifft vor allem den Übergang vom erlebnishaft geprägten common sense zur abstrakten wissenschaftlichen Theorie. Ein Bewußtmachen dieser Probleme kann m.E. dazu beitragen, das Physiklernen zu erleichtern.

1 Problemstellung

Mit der Gegenüberstellung von common sense und physikalischen Vorstellungen soll angedeutet werden, dass sie grundverschieden und nicht in einfacher Weise aufeinander reduzierbar sind. In dieser Inkommensurabilität ist eine Quelle von Lernschwierigkeiten begründet. Sie beruhen auf eine kurze Formel gebracht darauf, dass die physikalische Erfassung der Dinge weitgehend verlangt, sie "so zu beschreiben, wie wir sie nicht erfahren"[1]. Bereits Goethe, der häufig als Anwalt lebensweltlichen Denkens zitiert wird, hält diese Einsicht für fundamental: "Die größten Wahrheiten widersprechen oft geradezu den Sinnen, ja fast immer. Die Bewegung der Erde um die Sonne - was kann dem Augenschein nach absurder sein? Und doch ist es die größte, erhabenste, folgenreichste Entdeckung, die je der Mensch gemacht hat, in meinen Augen wichtiger als die ganze Bibel" [2].

In der Tat ist - streng gedacht - im rein lebensweltlichen Vorverständnis nichts Physikalisches gegeben. Soweit Schüler und Studenten nicht schon einen physikalischen Vorstellungsrahmen erworben haben, was trotz der Beherrschung vieler Schlagwörter in den seltensten Fällen zutreffen dürfte, verweist in ihrer ursprünglichen Erfahrung nichts von sich aus auf jene physikalisch genannten idealen Objekte und ihren kausalgesetzlichen Zusammenhang. "Es gibt in lebensweltlicher Hinsicht nichts, was den physikalischen Gegenstand bzw. dessen Teilzusammenhänge gleichsam ablesbar an sich hätte" [3]. So hat Farbe beispielsweise keinen

Aspekt "Wellenlänge".

2 Erkennen heißt Handeln

Wie kommt es zu der Diskrepanz zwischen physikalischer und lebensweltlicher Sehweise? Kann nicht die physikalische Beschreibung der Welt als Fortsetzung alltäglicher Verhaltensweisen angesehen werden? Um diese Fragen zu beantworten, schließen wir uns der weitgehend akzeptierten Vorstellung an, dass wegen des krassen Mißverhältnisses zwischen dem Fassungsvermögen des menschlichen Bewußtseins und der Komplexität der Welt nur Teile derselben auf ein vereinfachtes Denkmodell abgebildet werden können. Erkenntnis kommt - ganz grob gesprochen - dadurch zustande, dass versucht wird, neue Eindrücke, Informationen aus der Umwelt durch Handeln (z.B. Zählen, Messen, Klassifizieren, Kombinieren, Experimentieren usw.) in das Denkmodell einzubauen. In der Sprechweise von Piaget geht es darum, das Neue nach dem Merkmal der Ähnlichkeit an die bereits existierenden Schemata anzupassen (Assimilation) oder, wenn dies nicht gelingt, durch Modifikation der Schemata (Akkomodation), eine Integration zu erreichen. Dies gilt allgemein für lebensweltliche und physikalische Erkenntnisse. Der Unterschied kommt dadurch zustande, dass das erkenntnisleitende Interesse, wonach in beiden Fällen ausgewählt und gewichtet wird, extrem unterschiedlich ist.

3 Der mathematische Entwurf der Natur

Die Modellierung der Natur wird vor allem seit Galilei weniger dadurch bestimmt, das unmittelbar Wahrnehmbare, das aber mit möglichst vielen Details zu erfassen, als vielmehr möglichst einfache, im Idealfall mathematisch beschreibbare Strukturen von größter Allgemeinheit zu erhalten.

Mathematisierbarkeit steht für Gewißheit, Reproduzierbarkeit, Berechenbarkeit. Diese Eigenschaften des Modells besitzt dann auch die Welt, sofern es

gelingt, mit Heinrich Hertz zu sprechen, die den-
knotwendigen Folgen der Bilder als naturnotwendige
Folgen der abgebildeten Gegenstände nachzu-
weisen bzw. genauer, hervorzurufen [4]. Damit dies
gelingt, muß die Natur nach Maßgabe des Modells
für eine solche Überprüfung präpariert werden. Ihre
Verhaltensmöglichkeiten müssen bis auf wenige
künstlich eingeschränkt werden, damit man die
Kontrolle behält.

Die Bedeutung der aktiven Handlung bei der physi-
kalischen Erkenntnis ist immer wieder hervorgeho-
ben worden. Für Einstein sind wissenschaftliche
Konzepte "freie Schöpfungen des Geistes und erge-
ben sich nicht etwa, wie man leicht zu glauben ge-
neigt ist, zwangsläufig aus den Verhältnissen in der
Außenwelt" [5].

Dies ist im übrigen auch als ein Seitenhieb auf den
naiven Empirismus zu verstehen, der durch Lehrbü-
cher und Ausbildung zumindest als Metalesson bis
in unsere Tage tradiert wird. Danach sind die Na-
turwissenschaften nur eine Art Versteckspiel. Die
Rolle des Wissenschaftlers beschränkt sich weitge-
hend darauf, die unter der Vielfalt natürlicher Er-
scheinungen verdeckten Naturgesetze und Konzepte
durch besonders scharfes Beobachten zu entdecken.

Zusammenfassend kann man sagen, dass naturwis-
senschaftliche Erfahrung nicht mehr die ganzheitliche,
einfühlsame Einsicht in einen größeren Zu-
sammenhang ist, sondern experimentelle, gedan-
kenexperimentelle Reproduzierbarkeit und Prognos-
tizierbarkeit des Verhaltens eines Gegenstandes
unter genau spezifizierten Bedingungen. Eine Sache
gilt erst dann als verstanden, wenn man sie wenig-
stens im Prinzip selber machen kann. Hier wird die
cartesische Metapher der Wirklichkeit als Maschine
sichtbar, die Grundlage des mechanistischen Welt-
bildes und Prinzip der naturwissenschaftlichen
Technik.

4 Phänomene werden konstruiert

Wie weitgehend das aktive Handeln die physikali-
sche Erkenntnis betrifft, kann man sich z.B. daran
klarmachen, dass selbst einfache physikalische Phä-
nomene nicht ohne weiteres in der Natur vorgefun-
den, sondern gewissermaßen konstruiert werden
müssen. Nehmen wir ein Beispiel: " Da ist ein
Teich, schattig, glatt, durchsichtig. Es fällt auf, wie-
viel flacher er aussieht, als man ihn vom Baden
kennt, besonders hinten. Badende, die im Wasser
stehen, haben merkwürdig kurze Beine. Und das
Schilf, wie es aus dem Wasser herauswächst, zeigt
einen Knick, wo es keinen hat." [6].

Die lebensweltliche Erkenntnis ist hier: Das Wasser
täuscht. Versucht man diese Beobachtung physika-
lisch zu beschreiben, d.h. zu einem physikalischen

Phänomen zu machen, so wird klar, dass in einem
einfachen Sinn Phänomen und Beschreibung
gleichzeitig entstehen: "Es gibt kein Phänomen,
wenn es nicht als solches wahrgenommen wird, d.h.
begrifflich vermittelt als das-und-das. Aber es gibt
auch keine Begriffe, die sich nicht auf dies oder das
beziehen, dies oder das so oder anders organisieren"
[7]. Beispielsweise ist das physikalische Konzept
des Lichtstrahls zur Beschreibung der Brechung
notwendig. Er läßt sich theoretisch bilden, sofern
man eine Vorstellung von Geradlinigkeit und Licht
hat. Der inhaltliche Aspekt von Geradlinigkeit ist
aber nur im Zusammenhang mit konkreten Phäno-
menen wie Spannen einer Schnur, freier Fall eines
schweren Körpers usw. zu erfassen. Der Begriff
Lichtstrahl läßt sich seinerseits nur dadurch inhalt-
lich erfassen, dass er in Verbindung mit optischen
Phänomenen gesehen wird, z.B. mit Schattenbil-
dung, aber auch mit Brechung, also Phänomene zu
deren Beschreibung der Begriff benötigt wird.

Darin kommt eine gewisse Zirkularität zum Aus-
druck. Um die Brechung zu verstehen, muß ich über
den Lichtstrahl verfügen; die Brechung ist aber ein
Phänomen, das zur Herausbildung des Lichtstrahls
mit beiträgt. Die Begriffe und Phänomene werden
also in einer Art Selbstkonsistenzverfahren elabo-
riert: Der vom Phänomen abstrahierte Begriff dient
der Präzisierung des Phänomens, das seinerseits zu
einem präziseren Begriff führt usw. Die Zirkularität
ist demnach nicht als vitiös, sondern eher als virtu-
os, kreativ anzusehen. Was hier als typisch für die
gleichzeitige Herausarbeitung von Phänomen und
Begriff beschrieben wird, gilt in einem umfassenden
Sinn für die naturwissenschaftliche Erkenntnis
schlechthin. So weist Kant darauf hin, "dass die
Vernunft nur das einsieht, was sie selbst nach ihrem
Entwurfe hervorbringt..." und dasjenige in der Na-
tur sucht, was sie selbst hineingelegt hat [8]. Ed-
dington zitierend umschreibt Heisenberg die we-
sentliche Einsicht der Physik in einem ausdrucks-
starken Bild: "Wir haben gesehen, das da, wo die
Wissenschaft am weitesten vorgedrungen ist, der
Geist aus der Natur nur wieder zurückgewonnen
hat, was der Geist in die Natur hineingelegt hat. Wir
haben an den Gestaden des Unbekannten eine son-
derbare Fußspur entdeckt. Wir haben tiefgründige
Theorien, eine nach der anderen ersonnen, um ihren
Ursprung aufzuklären. Schließlich ist es uns gelun-
gen, das Wesen zu rekonstruieren, von dem die
Fußspur herrührt. Und siehe! es ist unsere eigene"
[9].

5 Die Grenzen der Spekulation und das Problem der Wahrheit

Wie allerdings bereits aus dem obigen Beispiel
deutlich wurde, ist der Mensch in diesen seinen
Spekulationen nicht völlig frei: "Stellt einer die Be-

hauptung auf, die Erdkugel sei ein Würfel, so denkt er ohne Zweifel unabhängig. Allerdings auch falsch [10].

Einerseits entwickeln sich die Ideen und Konzepte nicht unabhängig von Erfahrungen, die in einem bestimmten Zusammenhang gemacht werden. Und andererseits muß bloß Gedachtes - ein theoretischer Entwurf - mit vom Menschen anscheinend nicht Gemachtem - eine von selbst da seiende Natur - harmonieren. Darüber, dass die Natur offenbar dem Versuch, sie zu z.B. mathematisch zu beschreiben, entgegenkommt, war schon Einstein höchst erstaunt, wenn er sagt: "Das ewig Unbegreifliche an der Natur ist ihre Begreiflichkeit"[11].

Experimente sind so gesehen nicht etwas, woraus man jenes Gedachte, Physikalisch- Gesetzmäßige gewinnt, sondern Demonstrationen dafür, dass der physikalische Entwurf, das Modell, (wie immer man das erdachte Schema, auf das man die Natur abbilden möchte, nennt) auch mit der Natur in Übereinstimmung gebracht werden kann. Die Realisierung des Experiments setzt bereits ein solches Schema voraus, ansonsten würde man wohl kaum auf jene - lebensweltlich betrachtet - ausgefallenen und ausgeklügelten Manipulationen kommen, die den Experimenten zugrunde liegen.

Wie erreicht man diese Harmonie zwischen Theorie und Experiment? Das ist ein äußerst schwer zu rekonstruierender Vorgang. Ich möchte nur einen für die Lehre wichtigen Aspekt herausgreifen, die Begriffsbildung, genauer: die Festlegung einer Grundgröße. In der Lehre beschränkt man sich, wenn man überhaupt darauf eingeht, auf die operationale Definition. Wichtiger ist es m.E. aber, die Erfahrung der Lernenden überhaupt erst einmal in der Weise festzulegen, dass sie das Merkmal, das es auf den Begriff zu bringen gilt, aus den entsprechenden Phänomenen herauslesen können. Anderenfalls könnte weder der Wunsch zur Größendefinition aufkommen oder wenigstens begründet werden, noch überprüft werden, ob "das gewählte Meßverfahren in sich konsistent ist, d.h. ob die benutzten physikalischen Vorgänge tatsächlich so sind, wie sie bei der Verwendung während des Messens vorausgesetzt wurden" [12].

Die innere Konsistenz ist ein notwendiges Kriterium. Aus positivistischer Sicht reicht es vollkommen aus. Der Wissenschaftsgeschichte ist jedoch zu entnehmen, dass es den meisten Wissenschaftlern auf eine größere Verbindlichkeit ihrer Theorien ankommt: eine Theorie muß akzeptabel sein. Das bedeutet heute nicht mehr als wahr akzeptabel zu sein, sondern eher der Erfahrung entsprechen. Denn nach heutigem wissenschaftstheoretischen Verständnis kann der Begriff der Wahrheit nicht als Übereinstimmung, ja nicht einmal als wahrscheinliche

Übereinstimmung mit den Dingen interpretiert werden: "Wahrscheinlichkeit zu messen, meint nicht, den Abstand von der Wahrheit in einem transzendentalen Sinn zu 'messen' - als ob wir im Vorhinein wüßten, wo die Wahrheit sich aufhält, um unseren Abstand von ihr einzuschätzen (wenn wir es wüßten, wären wir immer schon da, und es gäbe keinen Abstand mehr)." [13].

Vieles spricht m.E. dafür, dass dieser Wunsch nach Verbindlichkeit auch heute noch über die Annahme von Theorien entscheidet, auch wenn dies in einer präzisen Hinsicht nur schwer zu zeigen ist.

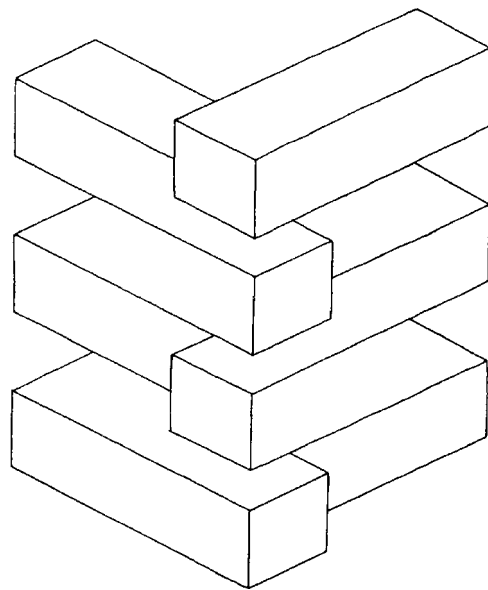


Abb. 1: Teile des Bildes wirken stimmig und "akzeptabel". Der Gesamteindruck vermittelt ein unmögliches Objekt (aus: [35]).

Wenn Osiander (1542) im Vorwort zu Keplers *De revolutionibus* behauptet, es komme lediglich auf die Übereinstimmung von Hypothesen und Beobachtungsdaten an, und es sei nicht nötig, "dass diese Hypothesen wahr, ja nicht einmal, dass sie wahrscheinlich sind" [14], dann muß das im historischen Kontext als Verstecken des hinter den Theorien stehenden Weltbildes gedeutet werden. Jedenfalls läßt Kopernikus anlässlich derselben Problematik an Deutlichkeit nichts zu wünschen übrig, wenn er sich mit folgenden Worten an die Anhänger der Ptolemäischen Lehre wendet: "Obschon sie die erscheinenden Bewegungen großenteils durch treffende Zahlen gelöst zu haben scheinen...haben sie die Hauptsache, nämlich die Gestalt des Weltalls und die tatsächliche Symmetrie seiner Teile, nicht zu finden und aus jenen Kreisen zu berechnen vermocht. Vielmehr geht es ihnen wie jemandem, der von verschiedenen Orten Hände, Füße, Kopf und andere Glieder nähme, ausgezeichnet zwar, aber nicht in der Proportion eines einzigen Körpers ge-

macht - es würde, da sie zueinander nicht passen, ein Ungetüm eher als ein Mensch aus dieser Zusammensetzung entstehen" [15](siehe Abb. 1).

6 Die Rahmengebundenheit der Erkenntnis

Wichtiger noch als die verständnisvolle Einsicht in die Tatsache, dass Physik treiben auch heißt, in den betrachteten Gegenstandsbereich aktiv einzugreifen, sind die damit verbundenen Rückwirkungen auf die Dinge selbst. Es gibt zahlreiche Beispiele aus der Wissenschaftsgeschichte die zeigen, dass sich mit der Betrachtung auch die Welt selbst ändert.

Dieser Aspekt wird besonders virulent und birgt eine Quelle von Lernschwierigkeiten, wenn es um die Einschätzung von direkten Sinneswahrnehmungen geht, über die eigentlich unmittelbar Einigkeit erreichbar sein sollte.

Das soll an einem Beispiel aus der Schulphysik illustriert werden: Es ging um Elektrizitätslehre in einer 10. Gymnasialklasse. Die Fließvorstellung des elektrischen Stromes sollte entwickelt werden. Um zu klären, wieso Wirkungen an entfernten Stellen im Stromkreis instantan auftreten, sollte nahegelegt werden, dass, wie bei einem gefüllten Wasserschlauch, der Strom sich sozusagen auf Kommando in Bewegung setzt. Dazu sollte das gleichmäßige Erglühen eines Drahtes nach Einschalten des Stroms als Beleg dienen. Vor Durchführung des Versuchs wurden die Schüler gefragt, welchen Versuchsausgang sie erwarteten. Es wurden i.w. drei Meinungen vertreten:

- Eine Gruppe erwartete, dass sich ein Erglühen des Drahtes von links nach rechts einstellen würde, je nach Richtung des Stroms.
- Eine zweite Gruppe sagte ein in der Mitte des Drahtes einsetzendes, sich nach den Enden fort-pflanzendes Erglühen voraus. Sie stellte sich vor, zwei Ströme würden von beiden Polen kommend in der Mitte aufeinanderprallen, und der sich infolge des Zusammenpralls nach den Enden ausbreitende Rückstau würde das Glühen hervorrufen.
- Eine dritte Gruppe erwartete das "richtige" Ergebnis des gleichmäßigen Erglühens.

Nach Durchführung des Experiments mußte der Lehrer erstaunt zur Kenntnis nehmen, dass der Versuchsausgang die beiden "abtrünnigen" Gruppen offenbar nicht eines besseren belehrt hatte. Fast jeder sah das, was er zu sehen erwartete.

Die Tatsache, dass man auf dasselbe Phänomen blicken, aber je nach seinem jeweiligen Erwartungshorizont etwas anderes sehen kann, ist nicht so erstaunlich wie Lehrer häufig vermuten. Jedenfalls muß darin nicht der böse Wille der Schüler zum Ausdruck kommen. Psychologen haben wiederholt

auf entsprechende Untersuchungsergebnisse hingewiesen. T.S. Kuhn hat an zahlreichen Beispielen der Physikgeschichte demonstriert, dass auch Physiker keine Ausnahme zu machen scheinen: "Was ein Mensch sieht, hängt sowohl davon ab, worauf er blickt, wie davon, worauf zu sehen ihn seine visuell-begriffliche Erfahrung gelehrt hat" [16].

Demnach kann man nicht davon ausgehen, dass vorwiegend noch lebensweltlich denkende Schüler, ohne weiteres dasselbe sehen wie der Lehrende, wenn sie dasselbe betrachten. Die physikalischen Rahmenvorstellungen des Physikers heben andere Wahrnehmungsmerkmale hervor als die lebensweltlichen der Schüler und teilweise auch noch der Studenten, so dass sich ihm schon durch bloßes Hinsehen Regelmäßigkeiten offenbaren können, wo für Schüler und Studenten völliges Chaos herrscht (Abb.2).



Abb. 2: Was erkennen Sie in der "Komplexität" dieses Bildes, eine Landschaft, einen liegenden Menschen oder völliges Chaos? Wenn man das vermeintliche Chaos erforscht und es insbesondere in seinem "Kontext" wahrnimmt (Abb.4) erkennt man die "wahre" Struktur, die man schließlich auch ohne "Kontext" stets wiedererkennt, als sei es das Natürlichste auf der Welt (aus: [35]).

Ein anderes Beispiel habe ich noch aus meinem Studium vor Augen. Es ging um die Interpretation von Blasenkammeraufnahmen innerhalb eines Fortgeschrittenenpraktikums. Der betreuende Lehrende fragte uns angesichts unserer offensichtlichen Begriffsstutzigkeit: "Sehen Sie denn nicht, dass hier ein Lambda-Null Teilchen fliegt?" Dabei zeigte er auf ein Gebiet der Aufnahme, das überhaupt keine Linie aufwies. Denn elektrisch neutrale Teilchen hinterlassen keine Spur. Die Erfahrung mit solchen Bildern machte für ihn aus einem Liniengewirr konkrete Vorgänge, ja, im Kontext der Linien sah er selbst dort etwas, wo nichts war.

Galilei muß es ähnlich gegangen sein, als er die Kirchenfürsten aufforderte, durch sein Fernrohr zu blicken. Er erwartete von ihnen nicht weniger, als den weißen Fleck, den sie in einem ihnen völlig un-

bekanntes Gerät sehen, für einen Himmelskörper zu halten. Hans Blumenberg hat diese Situation einmal treffend charakterisiert:

"Galilei ist ein Mann von einer vertrackt reflektierten Optik. Er richtet das Fernrohr auf den Mond, und was er sieht, ist die Erde als Stern im Weltall" [17].

7 Wie wirklich ist die Wirklichkeit

Wir haben gesehen: Die physikalischen Objekte sind das Ergebnis einer extremen Komplexitätsreduktion: Durch Absehen von zahlreichen individuellen Eigenschaften gelingt eine Vereinfachung, die eine weitgehende quantitative Beschreibung und Mathematisierung erlaubt. Die dazu nötigen Begriffe entstehen also gewissermaßen durch "Gleichsetzen des Nichtgleichen" bzw. dadurch, "dass wir zwischen den Dingen trotz ihrer Verschiedenheit Ähnlichkeiten finden, und trotz ihrer Unbeständigkeit beständige Ansichten von ihnen gewinnen; dadurch erhalten wir Ideen, an die wir herankönnen, während uns die Dinge selber unter den Händen weggleiten" [18]. Denn die farbenprächtige und vielgestaltete Lebenswelt schrumpft auf ein kühles Begriffsnetz zusammen; Farben, Gerüche, Gefühle, selbst der Zeitablauf des wirklichen Geschehens werden ignoriert. Aus einer derart verarmten Perspektive erlebt, erscheint die Wirklichkeit als "Be-gränisstätte der Anschauung" [19].

Bert Brecht nähert sich diesem Sachverhalt durch eine Herr-Keuner - Geschichte: Herr Keuner sagt "ich arbeitete einmal bei einem Gärtner. Er händigte mir eine Gartenschere aus und hieß mich einen Lorbeerbaum beschneiden. Der Baum stand in einem Topf und wurde zu Festlichkeiten ausgeliehen. Dazu mußte er die Form einer Kugel haben. Ich begann sogleich mit dem Abschneiden der wilden Triebe, aber wie sehr ich mich auch mühte, die Kugelform zu erreichen, es wollte mir lange nicht gelingen. Einmal hatte ich auf der einen, einmal auf der andern Seite zu viel weggestutzt. Als es endlich eine Kugel geworden war, war die Kugel sehr klein. Der Gärtner sagte enttäuscht: `Gut das ist die Kugel, aber wo ist der Lorbeer?'" [20].

Genau auf diese Idealform kommt es aber nach Galilei an: "Das Universum...ist in der Sprache der Mathematik geschrieben, deren Buchstaben Dreiecke, Kreise und andere geometrische Figuren sind; ohne diese Mittel ist es dem Menschen unmöglich, auch nur ein einziges Wort zu verstehen." [21]. Ob Herr Keuner seine Aufgabe wohl besser erfüllt hätte, wenn er schon etwas von Mandelbrots Fraktaler Geometrie gehört hätte, die davon ausgeht, dass "Wolken ... keine Kugeln, Berge keine Kegel, Küstenlinien keine Kreise (sind), Borke... nicht glatt (ist)- und auch der Blitz sich seinen Weg nicht ge-

rade" bahnt [22]. Dies mag sogar aus lebensweltlicher Sicht einleuchten. Allerdings sind auch diese sogenannten Fraktale Idealgestalten, und in dieser Hinsicht bleibt sich die Physik als mathematische Naturwissenschaft durch alle Änderungen der Sehweisen hindurch treu.

Die mit der physikalischen Beschreibung einhergehende "Verarmung" hat Einstein einmal treffend durch den Hinweis illustriert, dass die im Erlebnis eines Musikstücks zum Ausdruck kommende Realität physikalisch nichts anderes sei, als eine Abfolge von Luftdruckschwankungen.

Dem ungeachtet wird die in den physikalischen Theorien implizierte Sehweise häufig "als vollständige und erschöpfende Darstellung der Wirklichkeit" akzeptiert [23]. Darin unterscheiden sich viele Laien kaum mehr von den Naturwissenschaftlern. Während letztere in diesem Bild der Welt durch einen langwierigen Ausbildungsprozeß erzogen werden - was als eine Art Forschungsapriori angesehen werden muß- wachsen alle zusammen bereits in einer durch naturwissenschaftliche Technik weitgehend bestimmten Welt auf (Massenmedien, Verkehrsmittel etc.) "Sie tendieren dazu, diejenigen Aspekte der Erfahrung, die die Naturwissenschaftler ... nicht berücksichtigen, so anzusehen, als seien diese irgendwie weniger real als jene Aspekte, die die Naturwissenschaft willkürlich durch Abstraktionen aus der unendlich reichen Gesamtheit bestehender Tatsachen ausgesondert hat [24].

Dies ist die Sicht des Technikers in Max Frischs "Homo faber": "Ich habe mich schon oft gefragt, was die Leute eigentlich meinen, wenn sie von Erlebnis reden. Ich bin Techniker und gewohnt, die Dinge zu sehen, wie sie sind. Ich sehe den Mond über der Wüste von Tamaulipas - klarer als je, mag sein, aber eine errechenbare Masse, die um unseren Planeten kreist, eine Sache der Gravitation, interessant, aber wieso eine Erlebnis?" [25].

Was ist wirklicher, die Erlebnisse, die man im Alltag macht oder die Realität, an der sich der Wissenschaftler orientiert, und die zu einem großen Teil seinen Ideen, Sehweisen und Vorstellungen entsprechen? Läßt sich Realität überhaupt unabhängig vom menschlichen Subjekt erfassen? Wenn nicht, ist sie dann nicht abhängig von historischen Bedingungen, der Wandelbarkeit der menschlichen Vorstellungen und auch von der menschlichen Fehlbarkeit?

Zunächst gilt es, der sich hier andeutenden Gefahr des extremen Skeptizismus zu entgehen, "der die Gesetze des Denkens auf kontingente Eigenschaften einer gewissen Spezies reduziert, die objektive Gültigkeit unseres Wissens zerstört und die Wahrheit für eine Funktion unseres Verhaltens hält" [26].

Unter solchen Bedingungen wäre physikalische Forschung schlechterdings nicht denkbar. Wir müssen die Existenz einer wie auch immer gearteten Außenwelt gewissermaßen als Apriori für physikalische Forschung akzeptieren. Denn mit einem Aphorismus Kessels zu sprechen, wäre die Welt sonderbar beschaffen, "wenn sie nichts weiter wäre, als wofür ein jeder sie hält". Der Physiker unterstellt die Realität in seinem Tun. Die "Beschaffenheit" der Realität ist allerdings eine Sache, die zu seltsamen Schlußfolgerungen führt, wenn man versucht, sie in Termen naturwissenschaftlicher Erkenntnisse zu beschreiben. So weist Eddington beispielsweise ironisierend darauf hin, dass jemand, "der überzeugt ist, dass alle Phänomene aus Elektronen und Quanten hervorgehen und durch entsprechende mathematische Formeln kontrolliert werden, vermutlich in dem Glauben leben muß, dass seine Frau eine ziemlich elabourierte Differentialgleichung ist" und er fügt hinzu, dass er "wahrscheinlich taktvoll genug ist, diese Meinung nicht im Familienkreise zu vertreten" [27].

Durch diese Aussage kommt einerseits zum Ausdruck, dass die physikalische Beschreibung nur einen und vielleicht nicht einmal sehr umfassenden Aspekt der Realität entwirft. Doch selbst, wenn man die physikalische als die endgültige und einzige Beschreibung der Welt ansieht, kommt man nicht aus dem Dilemma heraus, eine hinter der Differentialgleichung stehende Anschauung zu entwickeln. Da jedoch die "einfacheren Elemente der wissenschaftlichen Welt keine Entsprechungen in der Alltagserfahrung haben" [28], ist jede Anschauung auf Anleihen aus der Lebenswelt angewiesen, die aber rein physikalisch gesehen nur eine Art Epiphänomen darstellt.

Diskussionen über die Realität entzündeten sich im Unterricht meist an der Frage, ob ein Atom etwas Reales oder nur ein Modell sei und vor allem, was man sich darunter vorzustellen habe. Wenn es aber etwas Reales ist, dann müßte jedoch ein jeder, der nicht alle Eigenschaften des Atoms kennt, in einer Modellwelt, also einer Scheinwelt leben. Und selbst der fiktive Atomphysiker, der alles über das Atom weiß, kann nicht sicher sein, dass sich angesichts künftiger neuer Entdeckungen irgendwann herausstellt, dass auch er in einer Scheinwelt lebte. Wenn man aber angesichts dieser Einsicht, in aller Bescheidenheit das Atom für ein Modell hält, muß man sich fragen, wo denn überhaupt eine Berührung mit der Realität erfolgt (Abb.4). Da wird man an Hofmannsthal erinnert, der einmal sagte: Das Wirkliche ist nicht viel mehr als der feurige Rauch aus dem die Erscheinungen hervortreten sollen; doch sind die Erscheinungen Kinder dieses Rauches" [29].

Die Frage nach der Realität erscheint müßig. Sie

wird aber immer wieder gestellt. In dem Bemühen, sie zu beantworten, lernt man eine Menge über Physik, auch wenn die Antwort auf die Frage, was ein Atom denn nun eigentlich sei, lautet: "Das Atom ist seinem Wesen nach nicht ein materielles Gebilde in Raum und Zeit, sondern gewissermaßen nur ein Symbol, bei dessen Einführung die Naturgesetze eine besonders einfache Form annehmen" [30].

Was bleibt ist vielleicht die Einsicht, dass es sinnlos ist, eine vom Menschen unabhängige Instanz Realität anzunehmen. Denn das würde voraussetzen, dass der Mensch heraustritt aus seiner Natur, Geschichte und seinen wissenschaftlichen Theorien und die Welt, auf die diese sich beziehen, von einem Standpunkt aus beurteilt, den er nicht einnehmen kann [31].

Wie tief andererseits die Ansicht einer hinter den Dingen verborgenen Wirklichkeit ist, die es mit Hilfe der Wissenschaften zu entdecken gilt, drückt sich in der bei Schülern und Studenten, ja manchmal sogar bei namhaften Physikern anzutreffenden Überzeugung aus, die Realität sei durch die Physik vollständig beschreibbar, die Physik als Wissenschaft also abschließbar; und, da die gegenwärtigen Theorien die richtigen seien, stehe dieser Abschlußmittelbar bevor.

8 Aspektcharakter der Physik

"Die Welt ist viel zu reichhaltig, als dass es möglich wäre, sie in einer einzigen Sprache auszudrücken" [32]. Dieser Ausspruch Prigogines löst das Dilemma der Vorrangigkeit von lebensweltlicher und physikalischer Erfahrung, indem er beide Beschrei-

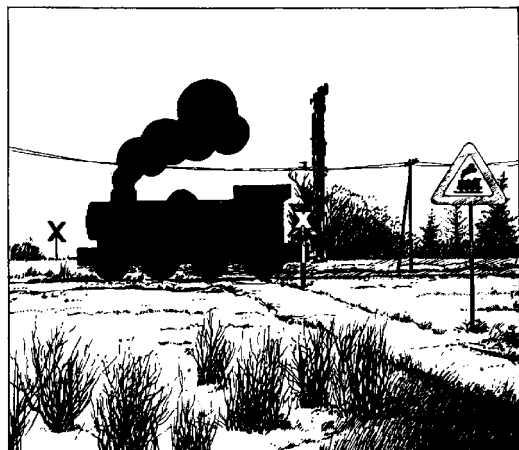


Abb. 3 Kann man in Bereichen, die der Sinneswahrnehmung nicht direkt zugänglich sind, die hinter dem Modell stehende Realität anders sehen als das Modell, auf das man sie reduziert hat? (M. Damm).

ungsweisen als einander ergänzende Aspekte der Realität aufzufassen nahelegt.

Schon Pascal weist in seinen Pensee darauf hin, wenn er betont, dass wir die Dinge "nicht nur...von verschiedenen Seiten, sondern auch mit anderen Augen" [33] sehen können. In jüngster Zeit hat Martin Wagenschein insbesondere im Hinblick auf das für Menschen "auf dem Wege zur Physik" komplizierte Verhältnis zwischen common sense und Physik immer wieder auf den Aspektcharakter der jeweiligen Sehweise verwiesen. In einer ausdrucksstarken Beschreibung hat er seine Gedanken dazu am Beispiel des Mondes dargelegt, der auch heute noch - nicht nur für Liebende und Poeten - bedeutend mehr ist als eine bloße Steinwüste [34]. Er hat eindrücklich darauf hingewiesen, dass eine zahlenmäßige Erfassung der Welt nicht der Weisheit letzter Schluß sein kann und insbesondere aufzeigt, dass die Relativierung der physikalischen Sehweise das Verständnis eher fördern als behindern kann.

9 Zusammenfassung

Ich habe einige Schwierigkeiten beim Lernen von Physik angesprochen, die mehr oder weniger direkt mit dem Wechsel des Vorstellungsrahmens zusammenhängen, also wissenschaftstheoretisch vermittelt sind. Ein Lernender kann sich so gesehen nicht nichtwissenschaftstheoretisch verhalten, will sagen: sein Lernen wird in jedem Fall von wissenschaftstheoretischen Vorstellungen begleitet, die ihm selbst dann, wenn sie in der Ausbildung nicht angesprochen werden, als Metalesson der Lehrveranstaltungen mitgegeben werden. Meines Erachtens spricht einiges dafür, dass ein Bewußtmachen dieser Probleme - ob in den Lehrveranstaltungen selbst oder in eigenen wissenschaftstheoretischen Veranstaltungen - das Lernen von Physik erleichtern könnte.

Literatur

- [1] C.F. v. Weizsäcker: Die Tragweite der Wissenschaft, Stuttgart: Hirzel 1966.
- [2] J.W. v. Goethe: Goethes Werke, Wien etc.: Guttenberg o.J.
- [3] B. Redeker: Zur Sache des Lernens - Am Beispiel des Physiklernens. Braunschweig: Westermann 1982.
- [4] H. Hertz: Prinzipien der Mechanik. Leipzig: Barth 1894.
- [5] A. Einstein, L. Infeld: Die Evolution der Physik. Reinbek: Rowohlt 1956.
- [6] M. Wagenschein: Naturwissenschaftliche Bildung und Sprachverlust. In: Sprache - Brücke und Hindernis. München: Piper 1972.
- [7] W. Jung: Aufsätze zur Didaktik der Physik und Wissenschaftstheorie. Frankfurt: Diesterweg 1979.
- [8] I. Kant: Kritik der reinen Vernunft: Erster Teil, Darmstadt: Wiss. Buchgesellschaft 1968. [9] W. Heisenberg: Das Naturbild der heutigen Physik. Reinbek: Rowohlt 1972.
- [10] H. Kasper: Abel gib acht. Düsseldorf: Econ 1962.
- [11] A. Einstein, zit.nach: M. Wagenschein: Die Pädagogische Dimension der Physik. Braunschweig: Westermann 1971.
- [12] G. Ludwig: Die Grundstrukturen einer physikalischen Theorie, Bd. 1, Berlin, New York: Springer 1978.
- [13] L. Kolakowski: Die Suche nach der Gewißheit. München: Piper 1986.
- [14] Osiander: zit. nach: S. Samburski: Naturerkenntnis und Weltbild. München: Artemis 1977, S.210.
- [15] N. Kopernikus: zit.nach S. Samburski, ebd. S.218.
- [16] T.S. Kuhn: Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen, Frankfurt: Suhrkamp 1969.
- [17] H. Blumenberg : Galileo Galilei, Siderius Nuncius, Frankfurt: Suhrkamp 1980.
- [18] H. Bergson: Die beiden Quellen der Moral und Religion 1960.
- [19] F. Nietzsche: Werke, Bd. III. München: Hanser 1973, S.313.
- [20] B. Brecht: Gesammelte Werke 12, Prosa 2. Frankfurt: Suhrkamp 1967.
- [21] G. Galilei: Il Saggiatore. Rom: 1623.
- [22] B. Mandelbrot: Die fraktale Geometrie der Natur. Basel: Birkhäuser 1987.
- [23] J. Weizenbaum: Die Macht der Computer und die Ohnmacht der Vernunft. Frankfurt: Suhrkamp 1978.
- [24] A. Huxley: Science, Liberty and Peace. New York 1946
- [25] M. Frisch: Homo faber. Frankfurt: Suhrkamp 1980
- [27] A. Eddington: The Nature of the Physical World. Cambridge: UP 1928.
- [28] A. Eddington: ebd.
- [29] H.v. Hofmannsthal: In: Dichter und leben. Düsseldorf: Küpper 1968.
- [30] W. Heisenberg: Wandlungen in den Grundlagen der Naturwissenschaften. Stuttgart: Hirzel 1947.
- [31] P. Feyerabend: Wissenschaft als Kunst. Frank-

furt: Suhrkamp 1985

[32] I. Prigogine: zit. nach: E. Jantsch: Die Selbstorganisation des Universums. München: dtv 1982, S.407.

[33] B. Pascal: Pensees. Paris 1962, p. 73 (Übersetzung von H.J. S.).

[34] M. Wagenschein: Die beiden Monde. Scheidewege 4, 463 (1979)

[35] B. Ernst: Das verzauberte Auge. Berlin: Taco 1989.

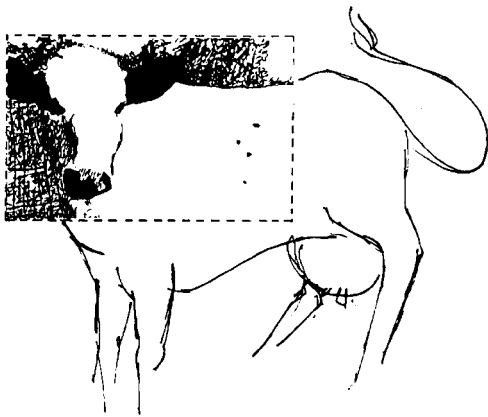


Abb. 4